

## UNIDADES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTAS E OS REGIMES DE NEUTRO – CASO DE ESTUDO

J. H. S. Soares, Licenciado em Engenharia Electrónica e de Automação, ISPGaya<sup>1</sup>

Delmar F. Jorge, Docente do ISPGaya<sup>2</sup>

Ernesto. A. Eusébio, Docente do ISEL<sup>3</sup>

**Resumo:** As unidades de alimentação ininterruptas, UPS's, desempenham na atualidade um papel fundamental na alimentação de cargas críticas nas instalações elétricas. Na cada vez mais premente necessidade de garantir qualidade e continuidade de energia levou a que este tipo de equipamentos se tenha desenvolvido e aperfeiçoado do ponto de vista tecnológico.

A alimentação das instalações elétricas proveniente da rede de distribuição de energia contém ou está sujeita a micro interrupções, interrupções, sobretensões, conteúdo harmónico indesejável, não garantindo os níveis exigidos por alguns dos sistemas elétricos atuais colocando em causa a cadeia de valor de muitas empresas. O nível de disponibilidade e qualidade de potência está diretamente relacionado e produz efeitos diretos na continuidade das operações. Fatores como a produtividade, qualidade de produtos e serviços, capacidade concorrencial, segurança de bens e pessoas são imprescindíveis.

Os sistemas de UPS's de elevada potência com unidades de alimentação ligadas em paralelo garantindo redundância no fornecimento de energia às cargas constituem hoje a solução para o tipo de problemas referido. Contudo, a sua inserção nas instalações elétricas obriga a cuidados específicos, nomeadamente no que se refere ao regime de neutro da instalação, o qual condiciona de forma determinante a proteção de circuitos de distribuição e de pessoas.

Em Portugal o regime de neutro adotado, de uma forma generalizada, regime de terras separadas (é o regime TT), no qual a proteção de pessoas é assegurada pela colocação de dispositivos de corrente residual diferencial. Solução que no caso das configurações de paralelos redundantes de UPS's de elevada potência não garante um normal funcionamento destes sistemas concebidos para fundamentalmente funcionarem em regime TN (regime de Terra pelo Neutro). No presente trabalho apresenta-se no caso de estudo uma situação típica de instalação na qual se registam problemas de conflitos de neutro na saída de UPS's que obrigam à alteração do tipo de dispositivo de proteção nas entradas das máquinas e circuito de *bypass*. São, ainda, apresentadas propostas de solução.

**Palavras-chave:** Regimes de Neutro, Proteção de Pessoas, Unidades de Alimentação Ininterruptas, Proteções Diferenciais.

---

<sup>1</sup> jose.soares@schneider-electric.com

<sup>2</sup> dfjorge@ispgaya.pt

<sup>3</sup> eaeusebio@deea.isel.ipl.pt

## UNINTERRUPTED POWER SUPPLY UNITS and NEUTRAL SYSTEMS – CASE STUDY

**Abstract:** Uninterruptible power supplies, UPS's play nowadays a major role in power critical loads in electrical installations, the increasingly pressing need to ensure quality and continuity of energy led to this type of equipment led to the development and technological improvement of this type of equipment.

The supply of electrical facilities coming from the power distribution network contains, or is subject to micro interruptions, outages, power surges, unwanted harmonic content, failing to ensure the levels required by some of today's electrical systems by challenging the value chain of many businesses. The level of availability and power quality is directly related and produces direct effects on the continuity of operations. Factors such as productivity, product and services quality, competitiveness, security of property and persons are indispensable.

UPS's systems of high power, with power units connected in parallel and providing redundancy in the power supply to the loads are today the solution to the referred problems, however, its inclusion in electrical installations requires specific attention, especially in what regards the installation of the neutral regime which determines in a decisive way the protection of supply circuits and people.

In Portugal, the neutral regime adopted in a generalized way, is the TT system, separate land regime in which people's protection is ensured by placing residual current differential devices, a solution which in case of parallel redundant configurations for high power UPS's does not guarantee normal operation of these systems that are primarily designed to operate in TN method. In this work the case study presented is a typical installation situation in which have been reported neutral conflict problems in UPS output's that requires changes of the type of protection device at the entrances of machines and bypass circuit, solution proposals are also presented.

**Keywords:** Neutral Systems, People Protection, Uninterrupted Power Supply Units, Differential protections

## 1 INTRODUÇÃO

A rede de distribuição de energia elétrica fornece eletricidade cuja qualidade pode ser reduzida devido a diferentes tipos de perturbações. As perturbações são inevitáveis devido às grandes distâncias envolvidas no processo de geração/transmissão, bem como à grande variedade de cargas existentes na rede elétrica.

A origem das perturbações inclui:

- Provenientes do sistema de distribuição de energia devido a: condições atmosféricas adversas, acidentes, mudança de dispositivos de proteção ou controlo, entre outros;

- Equipamentos dos utilizadores ligados à rede elétrica: motores, equipamentos que originam falhas, como fornos elétricos de elevada potência, máquinas de soldar, sistemas de eletrónica, entre outros.

As perturbações referidas conduzem a micro interrupções de energia, sobretensões, variações de frequência, harmónicas, ruído de alta frequência, (AF), oscilações e interrupções de larga duração.

As fontes de alimentação ininterruptas, UPS, foram concebidas para resolver as situações indicadas acima. Foram instaladas pela primeira vez nos anos 70 do século passado e com o decorrer dos anos a sua importância tem vindo a crescer em conjunto com o desenvolvimento das tecnologias digitais [1].

As UPS constituem dispositivos elétricos posicionados entre o sistema de distribuição e as cargas sensíveis. Fornecem potência muito mais fiável do que o sistema de distribuição, o que corresponde às necessidades das cargas sensíveis em termos de qualidade de energia fornecida e disponibilidade de serviço [2].

O aumento significativo da quantidade de cargas sensíveis intensificou-se nos últimos anos devido, em grande parte, à proliferação de equipamentos de eletrónica digital com requisitos muito próprios. Acresce que a componente económica envolvida no tipo de serviços constitui um fator determinante para o incremento e evolução das UPS's.

No presente, computadores, sistemas de telecomunicações, instrumentação, todos eles equipamentos digitais são construídos na base de microprocessadores que suportam biliões de operações na unidade de tempo. Qualquer tipo de perturbação no fornecimento de eletricidade, mesmo de curta duração, pode originar prejuízos diretos e encargos decorrentes que, do ponto de vista económico, podem dar origem a valores muito elevados [1], [3].

A interrupção de fornecimento de eletricidade aos sistemas referidos pode, também, resultar num deficiente funcionamento dos sistemas e dar origem a perda de dados com consequências graves, por exemplo, falha de sistemas em aeroportos, centro informáticos de bancos ou empresas, laboratórios e hospitais.

Deste modo, o conceito de cargas críticas ou sensíveis foi ganhando cada vez maior importância no projeto das instalações elétricas devido à necessidade de lhes garantir um fornecimento de eletricidade imune às perturbações ocorridas no sistema de distribuição de energia, evitando-se assim, por exemplo:

- Perdas de produção em processos industriais;
- Interrupções de processamento em sistemas de comunicação;
- Segurança de pessoas em assistência hospitalar.

Neste novo paradigma os próprios fabricantes de equipamentos e sistemas sensíveis optaram por especificar exigências de qualidade de energia sob as quais os seus equipamentos podem operar, o que implicou na generalidade níveis de tolerância mais exigentes. Associando-se como é exemplo a *Computer Business Equipment Manufacturer's Association*, (CBEMA) e estabelecendo especificações para equipamentos de acordo com uma curva designada por CBEMA [3].

## **2 UNIDADES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTAS**

As UPS's são equipamentos elétricos destinados a suprir falhas ou deficiente qualidade de energia. Posicionando-se entre a alimentação e as cargas críticas a potência aparente que lhes está associada pode variar desde as dezenas de VA (Volt-Ampere) até centenas de kVA. Existem diferentes tipos de equipamentos e uma grande categorização observa-se entre as UPS's estáticas e as dinâmicas, as primeiras com grande difusão nos últimos anos e sobre as quais este trabalho se debruça e as dinâmicas ou rotativas que constituem uma outra variante para utilizações muito específicas e sem grande desenvolvimentos nos últimos anos [3].

### **2.1 TOPOLOGIAS DE UPS's**

A normalização internacional, *Internatinal Electrothechnical Commitee*, (IEC) nomeadamente através da norma IEC 62040-3 [4], a qual define a qualidade de tensão de saída e contempla três tipos de topologias de UPS's:

- Estado de espera passivo, *offline*;
- Interação com o sistema de distribuição, *lineinteractive*;
- Dupla conversão permanente, *online*.

Os três tipos de topologia coexistem em toda a gama de potências. No entanto, para a gama de potências mais elevada a topologia de dupla conversão permanente é a mais utilizada [3], [5], [6].

#### **2.1.1 Off line**

A sua principal aplicação é proteger equipamentos de baixa importância, onde a qualidade de energia não é muito exigente, no que diz respeito às variações de tensão e frequência.

### **2.1.2 Off line - lineinteractive**

Esta tecnologia acresce face à *off-line* a função de regulação de tensão, útil para utilizações com maior importância e com redes públicas sujeitas a variações de tensão.

A tensão de saída pode não ser sinusoidal e está sujeita a um corte que varia dos 6 aos 15 ms sempre que há uma falha de rede e passa a trabalhar sobre o ondulador.

### **2.1.3 On line**

Estas UPS convertem a tensão alternada em contínua e voltam a convertê-la em alternada e, em geral, têm sempre associado um *bypass* estático e a partir de algumas potências o manual. Podem trabalhar em paralelo para garantirem redundância ou soma de potência.

- Dupla conversão: o sinal de saída é produzido pelo ondulador que, por sua vez, recebe energia do retificador, o qual se encontra em *tampão* com as baterias de acumuladores.
- Modo ECO: a carga é alimentada pela rede através do *bypass* estático, o ondulador está parado e o retificador e o carregador mantêm a carga das baterias. O seu rendimento neste modo de funcionamento atinge os 99%.
- Modo ECO-conversão: as baterias são carregadas pelo ondulador e só o retificador está parado. Assim com uma perturbação da rede conseguem uma resposta rápida apresentando como rendimento típico um valor aproximado a 96%.

Como referido as UPS's de dupla conversão permanente são as mais utilizadas nas instalações elétricas de elevada potência devido às suas vantagens exclusivas em relação aos outros tipos:

- Apresentam uma regeneração completa da potência presente na sua saída;
- Possibilitam um isolamento total entre a carga socorrida e o sistema de distribuição de energia elétrica, isolando a carga de perturbações;
- Tempo de comutação para *bypass* inexistente;
- Em regime de funcionamento normal, o retificador/carregador converte o sinal de entrada de CA para um sinal em CC alimentando o inversor e carregando o banco de baterias;
- O inversor promove a regeneração do sinal de CC em CA colocando na saída um sinal de elevada qualidade sem perturbações no que se refere a amplitude e frequência;

- Em caso de falha da alimentação proveniente da distribuição de sinal de CA na entrada, o equipamento fornece através do inversor sinal na saída durante o tempo de autonomia disponível no banco de baterias;
- Possuem um *bypass* estático capaz de realizar a transferência de carga sem falha no fornecimento da saída, em caso de falha interna ou manutenção. Nesta situação o sinal de entrada não passa pelo inversor durante o tempo necessário para o restabelecimento das condições de funcionamento normal.

## 2.2 SISTEMAS DE UPS REDUNDANTES

A importância vital dos sistemas digitais deu origem a que as configurações utilizadas na alimentação das cargas evoluíssem para soluções que garantam redundância de potência. Passando-se de unidades UPS unitárias para diferentes configurações de redundância de acordo com as especificidades da instalação a socorrer [7], [8].

As soluções de redundância podem ser tomadas ao nível da alimentação com chegadas de energia provenientes de diferentes postos de transformação, introdução de grupo de socorro na instalação elétrica e ou redundância ao nível das UPS's, sendo também possível a conjugação de todas ou algumas das soluções apontadas.

Todas as soluções apontadas aos vários níveis da instalação elétrica pretendem atender aos requisitos de funcionamento solicitados:

- Fiabilidade e disponibilidade: garantia de nível de disponibilidade solicitada pela carga com recurso à utilização de componentes de comprovada fiabilidade, garantindo uma elevada qualidade de serviço;
- Manutenção: manutenção simples do equipamento ou sistema de equipamentos em condições de segurança para o pessoal e sem interrupção de serviço garantida;
- Atualização: as instalações elétricas evoluem ao longo do tempo face à necessidade de expansão ou novas condições de funcionamento. A solução de UPS adotada deve permitir a referida atualização de forma eficaz;
- Falhas: O sistema deve possibilitar tanto quanto possível o limitar das falhas a uma zona da instalação e permitir a sua manutenção sem interrupções de fornecimento;

- Gestão: As UPS's devem permitir a antecipação de acontecimentos que possam causar perturbações ao normal funcionamento da instalação. Tal é conseguido por meio de um sistema de supervisão e gestão com capacidade de comunicação com o sistema de UPS's.

Ao nível da redundância de UPS's pode-se considerar a ligação em paralelo de um dado número de unidades idênticas, destinado a aumentar a potência nominal ou a estabelecer redundância e disponibilidade, com vista ao aumento do *Mean Time Between Failures*, (MTBF).

### 2.2.1 Tipos de ligação em paralelo

As UPS podem ser ligadas em paralelo de diferentes formas [8]:

- Unidades UPS paralelas integradas – cada unidade UPS inclui um *bypass* automático e um *bypass* de manutenção manual. O *bypass* manual pode ser comum a todo o sistema (instalado num compartimento externo);
- As unidades UPS paralelas com um (SSC) – compartimento de comutador estático incluem um *bypass* automático e um *bypass* de manutenção comuns a uma variedade de unidades paralelas sem *bypass*.

Existem dois tipos de configuração típica em paralelo:

- Sem redundância – todas as unidades UPS são necessárias para satisfazer a carga. Na falha de uma unidade UPS todo o sistema entra em colapso não satisfazendo a carga.
- Com redundância N+1, 2N, etc. – o número de unidades UPS necessário para a satisfazer a carga é igual a N. Todas as unidades UPS (N+1, N+2, etc.) partilham a carga. Se uma dada UPS for desligada, as UPS's restantes (pelo menos igual em número a N) continuam a partilhar a carga.

## 3 REGIMES DE NEUTRO

De acordo com a norma IEC 60364 [9] a posição do neutro e das massas determina o regime de neutro de uma instalação de baixa tensão. O regime de neutro é conhecido pela utilização de uma sigla composta por duas a três letras.

A primeira letra indica a posição do neutro do transformador em relação à terra:

- T, Terra - ligação à terra, (terra de serviço), num ponto do sistema elétrico (normalmente o centro da estrela de um transformador de média tensão/baixa tensão, MT/BT em  $\Delta/Y$ );
- I, Isolado - sistema com neutro isolado da terra ou impedante (ligado à terra com impedância de elevado valor).

A segunda letra indica a posição relativa das massas dos aparelhos ligados à instalação:

- T, Terra - ligação das massas dos aparelhos de utilização à terra (terra de proteção);
- N, Neutro - ligação das massas dos aparelhos de utilização ao neutro do transformador.

A terceira letra é aplicada ao sistema TN, que possui diversos subesquemas, e indica como estão ligados o condutor neutro, N, e o condutor de proteção, (PE):

- C, Combinado - neutro e proteção num só condutor, PEN;
- S, Separado - neutro e proteção em condutores distintos.

A conjugação das letras fornece, deste modo, e de acordo com IEC 60364, três esquemas normalizados: TT, TN, IT. O esquema TN apresenta ainda diversos subesquemas que são vulgarmente designados por: TN-C, TN-S e TN-C-S. A conjugação e coexistência de TN-C e TN-S na mesma instalação é possível e usual, mas apenas é permitida a instalação do sistema TN-S a jusante do sistema TN-C [1], [5], [10].

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DOS REGIMES DE NEUTRO

As UPS's podem ser instaladas nos diferentes regimes de neutro, selecionados em fase de projeto para a conceção da instalação elétrica, mediante as características que apresentam, nomeadamente: condições de funcionamento, proteção de pessoas, equipamentos específicos, Compatibilidade eletromagnética, EMC, e utilização.

Nas Tabelas 1 a 5 representamos para cada um dos parâmetros anteriormente indicados a comparação nos diferentes regimes de neutro, IT, TT, TN-S e TN-C, em que se salienta as vantagens e inconvenientes de cada regime função do parâmetro em análise [3], [5].

Tabela 1: Condições de funcionamento (Regimes de Neutro)

IT	TT	TN-S	TN-C
- Sinalização do primeiro defeito de isolamento.	- Interrupção para o primeiro defeito.	- A interrupção ocorre para a primeira falha de isolamento.	- A interrupção ocorre para a primeira falha de isolamento.
- Localização e eliminação do primeiro defeito.		- Neutro separado (N) e condutor de proteção (PE).	- Neutro e condutor de proteção comuns (PEN).
- Interrupção para o segundo defeito.			

Tabela 2: Regimes de neutro visando a proteção de pessoas

IT	TT	TN-S	TN-C
----	----	------	------



- Interligação e ligação à terra das peças condutoras expostas.	- Ligação à terra das peças condutoras expostas conjugada com a utilização dispositiva de proteção de corrente residual diferencial.	- Ligação e interligação das peças condutoras expostas e neutro.	- Ligação e interligação das peças condutoras expostas e neutro.
- Primeiro defeito: Corrente muito baixasinalizada.	- Primeiro defeito: Corrente de fuga perigosa mas demasiado baixa para ser detetada pelos dispositivos de proteção por sobrecorrente. Interrupção via dispositivos de corrente residual.	- Primeiro defeito: Interrupção por meio de dispositivos de proteção por sobrecorrente.	- Primeiro defeito: Interrupção por meio de dispositivos de proteção por sobrecorrente.
- Segundo defeito: Corrente perigosa, interrompida por dispositivo de proteção.			

Tabela 3: Regimes de neutro para equipamentos específicos

IT	TT	TN-S	TN-C
- Dispositivos de monitorização de isolamento e dispositivos de localização de defeito.	- Dispositivos de proteção de corrente residual diferencial.	- Dispositivos de proteção de corrente residual diferencial utilizados em longas distâncias.	

Tabela 4: Compatibilidade eletromagnética, EMC, nos regimes de neutro

IT	TT	TN-S	TN-C
- Regime que garante a melhor continuidade de serviço (primeiro defeito só sinalizado).	- Simplicidade do ponto de vista de conceção da instalação.	- Mediante a potência instalada, aumento dos custos.	- Custos de instalação reduzidos pelo facto de existir menos um condutor.
- Necessidade de pessoal especializado na instalação (deteção do primeiro defeito).	- Obrigatória a utilização de dispositivos de proteção contra corrente residual diferencial.	- Maior dificuldade de conceção.	- Maior dificuldade de conceção.
- Elevado desempenho no que refere a EMC (correntes de baixo valor nas ligações à terra).	- Eléktrodo de terra distintos.	- Elevadas correntes de defeito.	- Elevadas correntes de defeito.
	- Muito sensível a efeitos de descargas atmosféricas.	- Elevado desempenho do ponto de vista de EMC, baixo valor de corrente no condutor PE em regime de funcionamento normal.	- Baixo desempenho do ponto de vista de EMC, elevadas correntes no condutor PEN.

Tabela 5: Utilização dos regimes de neutro

IT	TT	TN-S	TN-C
- Instalações elétricas que necessitam de assistência contínua, como: hospitais, aeroportos, processos industriais.	- Edifícios comerciais, residenciais, escolas, entre outros.	- Grandes edifícios comerciais, edifícios de grande altura.	- Grandes edifícios comerciais, edifícios de grande altura.
- Instalações e locais onde existam riscos de incêndio ou explosão.		- Indústrias sem processos contínuos.	- Indústrias sem processos contínuos.
		- Alimentação de sistemas informáticos.	- Alimentação de sistemas informáticos.

### 3.2 DISPONIBILIDADE DOS SISTEMAS DE UPS REDUNDANTES

Na Figura 1 observa-se o comportamento de diferentes configurações de UPS instaladas em diferentes regimes de neutro, relacionando a sua disponibilidade face ao valor de investimento (custo) [3], [11].

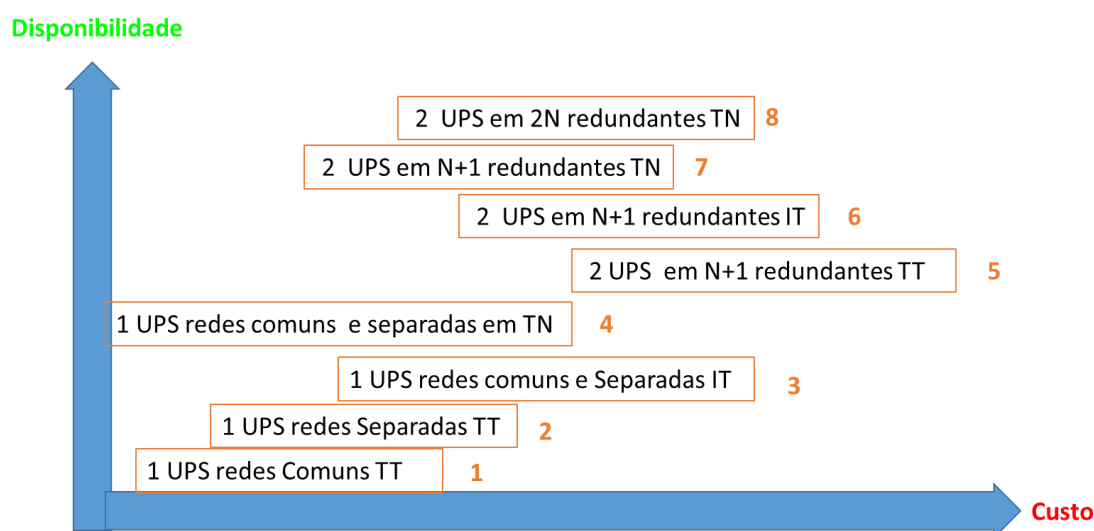


Figura 1: Relação custo e disponibilidade em arquiteturas de UPS.

Analisando as hipóteses indicadas na Figura 1, de acordo com as configurações 1 a 8, importa referir o seguinte:

1. Nesta configuração, além da UPS e da proteção magnetotérmica também é necessário existir proteção diferencial;
2. Nesta configuração além da UPS devem ser consideradas duas proteções magnetotérmicas, duas diferenciais e um transformador de isolamento;
3. Para além da necessidade de transformador obriga a colocar, na saída do transformador e da UPS, controladores permanentes de isolamento combinados;

4. Em regime TN basta a aplicação de proteções magnetotérmicas, desde que seja garantida a proteção de pessoas através da análise dos comprimentos máximos protegidos;
5. Obriga à colocação de dois transformadores de isolamento, para além das proteções magnetotérmicas e diferenciais;
6. Basta um transformador para alimentar as duas UPS e os dispositivos necessários para o sistema de neutro IT;
7. Investimento em duas UPS's, desde que em TN-S não seja obrigatório colocar proteções diferenciais;
8. Além das duas UPS, se as cargas só tiverem uma fonte necessita da aplicação de comutadores redundantes.

#### **4 CASO DE ESTUDO - APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS**

Neste capítulo é apresentado um exemplo de instalação de UPS's em que as correntes de fuga podem ser geradas de diversas formas nas UPS's, desde as provocadas pelos filtros de compatibilidade eletromagnética às pelo conteúdo harmónico.

A instalação pela sua arquitetura permite o estudo das correntes geradas pelos filtros de compatibilidade eletromagnética (CEM) e, também, a incompatibilidade de proteções diferenciais num regime de terras TT com duas UPS ligadas em paralelo redundante.

Este sistema é constituído por duas UPS de 300 kVA ligadas em redundância (N+1), com um *bypass* externo. O sistema alimenta a rede estabilizada de um edifício de serviços localizado na zona norte de Portugal. Trata-se de uma instalação projetada em regime de neutro TT.

No projeto foram consideradas, tal como indicam as regras técnicas de instalações elétricas em baixa tensão, (RTIEBT) [12], proteções diferenciais em cada ramo de alimentação. No momento do arranque da instalação foi necessário desativar as proteções diferenciais porque atuavam e não permitiam o funcionamento do sistema.

##### **4.1 SISTEMA DE DUAS UPS's REDUNDANTES**

A instalação em estudo apresenta uma configuração de duas UPS's de 300 kVA redundantes com interligação através de armário de *bypass* externo, como se pode observar na Figura 2.



a)



b)

Figura 2: Sala de UPS's: a) UPS1 e 2, armário de *bypass* e b) UPS's 2x300kVA.

As UPS's de 300 kVA redundantes com interligação através de armário de *bypass* estão instaladas numa sala climatizada com as condições adequadas ao tipo de equipamentos e requisitos dos equipamentos existentes.

#### 4.2 REGULAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Na Figura 3 observam-se os dispositivos diferenciais instalados na entrada das UPS's 1 e 2 em que se constata que se encontram desligados.



a)



b)

Figura 3: Dispositivos de proteção: a) Dispositivos de proteção diferencial dedicados às UPS1 e 2 e b) Toros para alimentação a dispositivos diferenciais.

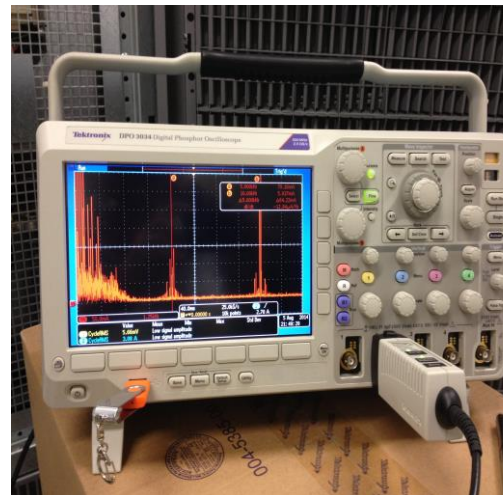
#### 4.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIDA

Os ensaios foram efetuados com os aparelhos de medida: analisador de energia *Fluke 435*, osciloscópio da *Tretoniks* e uma pinça amperimétrica *Fluke 360*. A Figura 4 apresenta o

osciloscópio *Tretoniks* ligado a um toro de alta sensibilidade a efetuar a medição da corrente de fuga na UPS 1. Apresenta, ainda, a pinça amperimétrica *Fluke 360* utilizada para medir a corrente de fuga na terra das entradas das UPS e do *bypass* externo. O analisador de energia *Fluke 435* registou as correntes e tensões das entradas das UPS 1 e 2 e as THDv e THDi na entrada das UPS's.



a)



b)

Figura 4: Equipamentos utilizados: a) *Fluke360* e b) Analisador de redes *Trektoniks*

#### 4.4 UPS PREPARAÇÃO DOS ENSAIOS

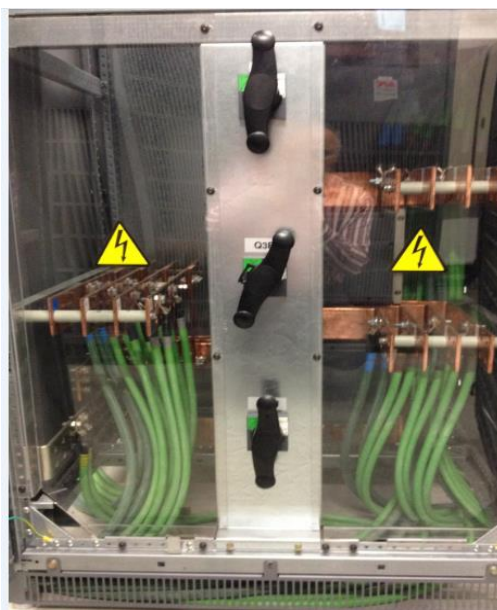
Na Figura 5 observam-se os equipamentos de medida a efetuarem o registos das grandezas elétricas da instalação em tempo real.



a)



b)



c)

Figura 5: Unidades de alimentação ininterrupta: a) armário da UPS1, b) medições na UPS1 e c) armário de *bypass* externo.

#### 4.5 MEDIÇÕES EFETUADAS

A

Figura 6 apresenta a forma de onda da tensão e corrente na entrada da UPS1.

O fator de crista com o valor aproximado de 2,5 denota a presença elevada de frequências diferentes da fundamental. Facto também explicado pelo elevado conteúdo harmónico. Sabendo que a onda de corrente sinusoidal só transporta a componente fundamental e que quando a esta são somadas as outras componentes harmónicas fica deformada, como se pode observar na forma de onda da corrente.

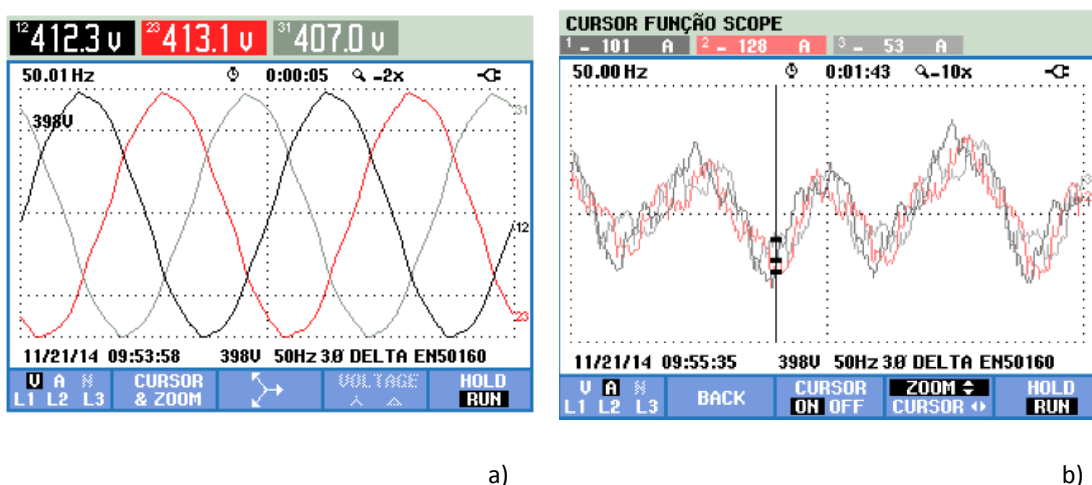


Figura 6: Formas de onda da UPS1: a) tensão na entrada e b) corrente na entrada.

Na Figura 7, observa-se o valor das correntes de fuga na UPS1 e no *bypass* externo, respetivamente. Embora com alguma margem de erro, uma vez que o toro utilizado não é o adequado no que diz respeito à imunidade e sensibilidade, pode-se verificar que a corrente de fuga na entrada do retificador da UPS 1 e *bypass* são elevadas.

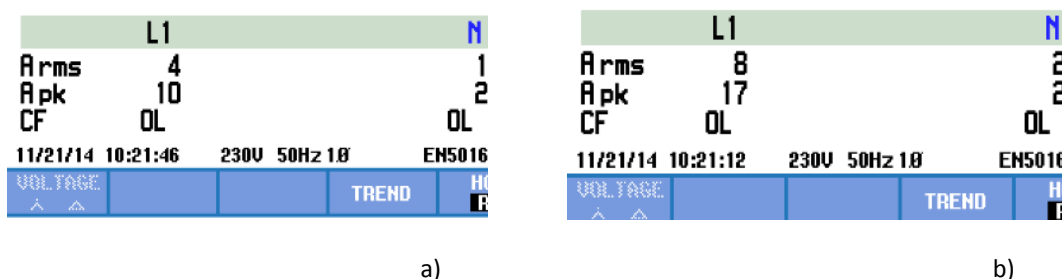


Figura 7: Intensidade de corrente de fuga: a) na UPS1 e b) no *bypass* externo.

Na Figura 8 apresenta-se o espectro de distribuição da taxa de distorção harmónica, THD em tensão e corrente na entrada da UPS1, respetivamente THDv e THDi.



Observa-se que na entrada do retificador da UPS 1, apesar da baixa taxa de distorção em tensão, a distorção em corrente provocada pelos harmónicos é elevada. Apesar da UPS em causa ser de última geração com ponte retificadora que corrige o fator de potência a 1 e limita os harmónicos de corrente a um valor residual com uma carga superior a 40 % da potência nominal, como a UPS está a 5% de carga a THDi tem um valor elevado de 50 %. Este ruído harmónico também contribui para um disparo antecipado das proteções pelo aquecimento gerado pelo efeito pelicular.

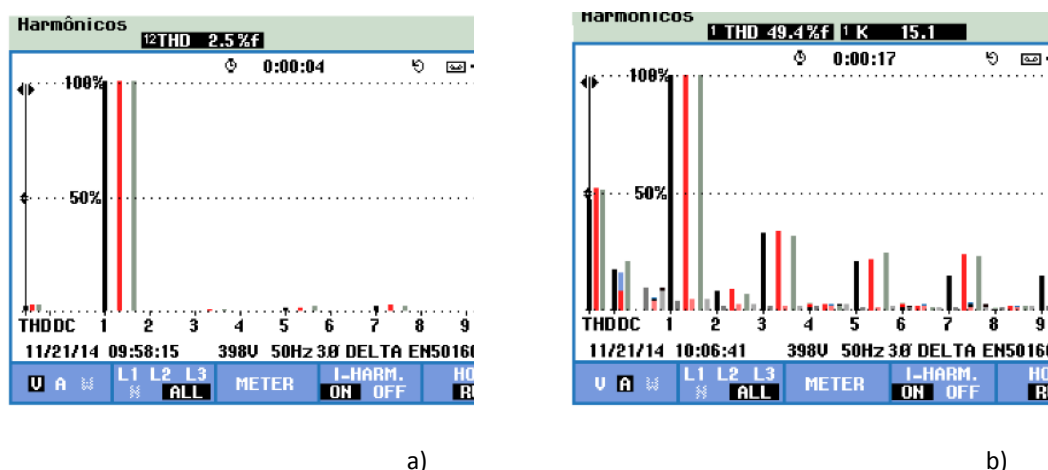


Figura 8: Taxa de distorção harmónica a) THDv entrada da UPS1 e b) THDi entrada da UPS1.

A Figura 9 apresenta o diagrama de fasores da tensão da instalação do qual se pode também observar a desfasagem na entrada da UPS1. No lado b) da referida figura observa-se o espectro da corrente nas frequências de 5 e 10 kHz.

Pela observação dos espectros da corrente nas frequências de 5 e 10 kHz é perceptível algum ruído de alta frequência gerado pela comutação da eletrónica da UPS1 e descarregado pelos filtros CEM para a terra na UPS1.

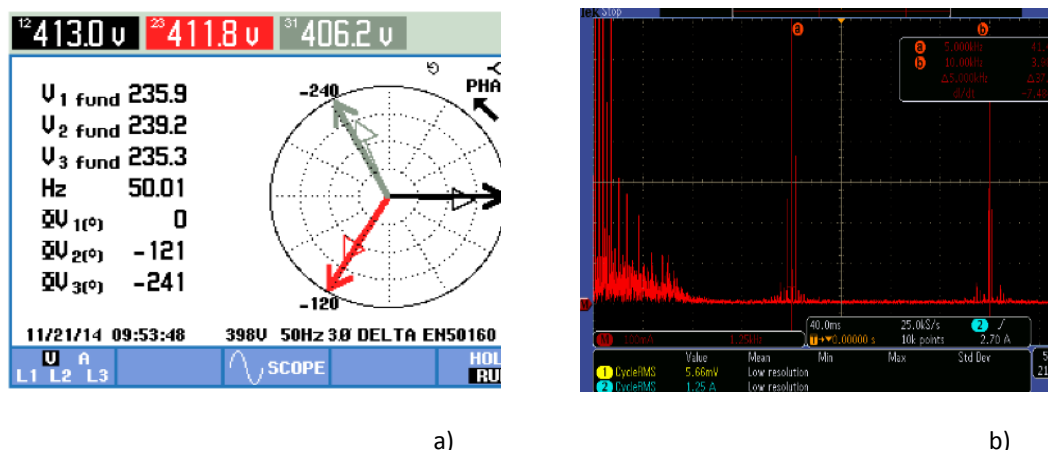


Figura 9: a) diagrama de fasores na entrada da UPS1 e b) corrente nos 5 e 10 kHz.



#### 4.6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Uma das incorreções observadas nesta instalação e que se deve evitar em futuros projetos com UPS's da atual geração, em que não há separação galvânica das duas redes e em que o neutro do *bypass* vai ligar à saída do retificador em regime de terras, TT, é a colocação de proteções diferenciais por ramo. Este erro é mais grave, devido ao conflito de neutros quando há UPS ligadas em paralelo. Esta foi a razão pela qual as proteções diferenciais foram desativadas.

Inferese, assim, a existência de um conflito de neutros em permanência na soma vetorial dos retificadores e do *bypass*. Por essa razão é que se registaram correntes tão elevadas, resultado do desequilíbrio vetorial em cada um dos ramos.

Segundo o manual do fabricante os valores máximos de corrente de fuga são inferiores a 3 A e como se pode confirmar os valores obtidos são muito superiores.

Verificou-se que esta corrente é resultante das frequências elevadas geradas pela UPS no escoamento dos filtros CEM proveniente da comutação dos circuitos de eletrónica de potência, pelo facto de ambas UPS estarem instaladas em paralelo e os neutros estarem ligados num ponto comum na saída.

##### 4.6.1 Proposta de solução 1

Nesta instalação, para ser garantida a proteção das pessoas, no regime de terras TT, deve ser aplicada uma proteção diferencial a montante do sistema. Com a sua instalação é assegurada a proteção de pessoas.

Existem, neste sentido, algumas considerações a ponderar:

- Não há conflitos de neutros das três entradas;
- A proteção das pessoas é assegurada;
- No caso de um disparo do diferencial geral as cargas a jusante das UPS ficam a funcionar com um neutro só ligado à terra pela reatância dos condensadores dos filtros CEM;
- Se houver uma perda de isolamento numa UPS coloca em causa a disponibilidade do sistema.

#### 4.6.2 Proposta de solução 2

Em virtude dos eletrodos de terra de serviço e proteção da instalação puderem ser interligadas, uma vez que as suas resistências são inferiores a 1 Ohm, e como as UPS estão num local de acesso condicionado a pessoas qualificadas e/ou instruídas, deveria ser considerada a manutenção das proteções diferenciais desativadas.

Atendendo à impedância da malha de defeito e aos disparadores instalados nas proteções é possível obter a proteção das pessoas na zona das UPS e a jusante destas pelos disparadores dos disjuntores garantindo as correntes e tempos de disparo. Desta forma, aumenta-se a disponibilidade do sistema ininterrupto e continua-se a garantir a proteção das pessoas.

A instalação em estudo (Figura 10) é alimentada através de um quadro geral de baixa tensão, QGBT, a partir do qual é efetuada a alimentação a um quadro intermédio, QTC3 do qual é alimentado o quadro de UPS.

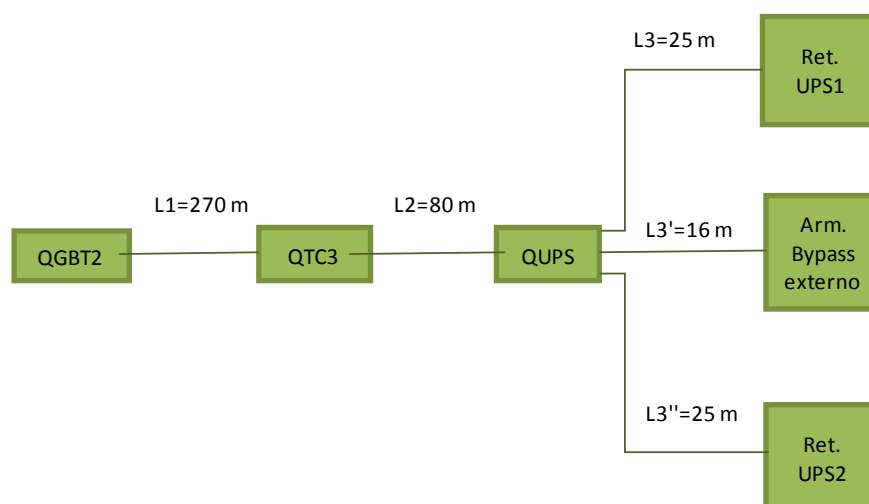


Figura 10: Distribuição de energia, alimentação ao quadro de UPS's.

O comprimento máximo protegido das canalizações, em regime TN, pode ser obtido de acordo com a equação 1 [13],

$$l_{\max} = \frac{u \cdot S_f}{[\rho \cdot (1 + m) \cdot I_{fu}]} \quad (1)$$

Onde,  $l_{\max}$  representa o comprimento máximo do condutor,  $I_{fu}$  regulação magnética do disjuntor,  $u$  a tensão na origem da instalação,  $m$  o quociente da secção do condutor fase pelo condutor de proteção e  $\rho$  a resistividade dos condutores à temperatura normal de funcionamento.

Na equação 2, o valor da tensão na origem da instalação,  $u$  é calculado de acordo com a expressão indicada [13].

$$u = c * U_0 \quad (2)$$

Onde,  $c$  representa o fator de tensão na origem do circuito e  $U_0$  tensão de fase-terra na origem da instalação.

A impedância (resistência) dos circuitos em defeito pode ser obtida através da equação 3, para canalizações com constituídas por condutores de secção  $\leq$  a  $120 \text{ mm}^2$  [13].

$$Z_{max} = R_{max} = \rho_f \cdot \frac{l_{max}}{s_f} + \rho_{PE} \cdot \frac{l_{max}}{s_{PE}} \quad (3)$$

Onde,  $\rho_f$  representa a resistividade do condutor de fase,  $\rho_{PE}$  a resistividade do condutor PE,  $s_f$  secção do condutor de fase e  $s_{PE}$  a secção do condutor PE.

No caso de condutores de secção superior a  $120 \text{ mm}^2$  a impedância (resistência) devem ser corrigidas de acordo com o apresentado na Tabela 6 [13].

Tabela 6: Impedância dos condutores dos circuitos em defeito.

Secção dos condutores $s$ em $\text{mm}^2$	Impedância dos circuitos em defeito $Z_s$
$\leq 120$	$Z_s \approx R_s$
150	$Z_s \approx 1,15 R_s$
185	$Z_s \approx 1,20 R_s$
240	$Z_s \approx 1,25 R_s$
300	$Z_s \approx 1,30 R_s$

O valor da resistividade considerado é, em regra, o mesmo que o utilizado no dimensionamento das canalizações para a queda de tensão em funcionamento normal e não o usado no dimensionamento de canalizações a curto-circuito. Esta diferença deve-se a que na proteção de pessoas contra contactos diretos os dispositivos de proteção devem atuar num tempo muito inferior ao utilizado como base na proteção contra curto circuitos. Os valores considerados na presente proposta de solução estão indicados na Tabela7. Os valores

apresentados na norma IEC 60909-0 foram publicados após a data de publicação das RTIEBT. Assim, no caso de estudo presente serão utilizados os valores da norma [13], [14].

Tabela 7: Resistividade dos condutores na proteção de pessoas

Referência	Cobre	Alumínio
RTIEBT	0.0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0.036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
IEC 60909-0	0.023 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0.037 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Considerando a configuração da instalação apresentam-se os valores de impedância (Tabela 8) de acordo com a equação 3, Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 8: Resistividade dos condutores na proteção de pessoas

Circuitos	Nº	Condutor de fase, secção em $\text{mm}^2$	Condutor PE, secção em $\text{mm}^2$	Impedância em $\Omega$
QGTB – QTC3	1	4x300	2x240	0.0069
QTC3 - QUPS	2	2x120	120	0.0333
QUPS - Retificador 1	3a	2x95	95	0.0031
QUPS - Retificador 2	3b	2x95	95	0.0031
QUPS - Bypass	3c	2x95	95	0.0019

As quedas de tensão a considerar na aplicação da regra do triângulo em derivação sucessiva, obtidas de acordo com as impedâncias do circuito em situação de defeito, são as indicadas na Tabela 9.

Tabela 9: Queda de tensão entre quadros da instalação.

Circuitos	Nº	Queda de tensão %	$c$	$U_0$	$u$
QGTB - QTC3	1		0,95	230	219
QTC3 - QUPS	2	$\Delta u_1 =$	0.9116	230	210
QUPS -	3a	$\Delta u_2 =$	0.8204	230	187
QUPS -	3b	$\Delta u_2 =$	0.8204	230	187
QUPS - Bypass	3c	$\Delta u_2 =$	0.8204	230	187

Os dispositivos de proteção instalados apresentam os valores de intensidade de corrente estipulada e de regulação de acordo as indicadas na Tabela 10, onde,  $I_r$  designa a intensidade regulada para a proteção da corrente de serviço do circuito em A e  $I_{sd}$  representa o valor de intensidade regulado para a atuação em defeito de curto-circuito em kA.

Tabela10: Valores regulados nos dispositivos de proteção da instalação.

Circuitos	Nº	Dispositivos de proteção	$I_n$ (A)	$I_r$ (A)	$I_{sd}$ (kA)
QGTB - QTC3	1	NW32H1	3200	1280	$1,5 I_r$
QTC3 - QUPS	2	NS630N	630	630	$6 I_r =$
QUPS -	3a	NS630N	630	500	$6 I_r =$
QUPS -	3b	NS630N	630	500	$6 I_r =$
QUPS -	3c	NS630N	630	630	$6 I_r =$

Com base nos valores de tensão na origem da instalação e por aplicação da regra do triângulo, obtêm-se os valores teóricos de  $I_{max}$  e os valores corrigidos de  $I_{max}$  por troço de canalização, conforme apresentado na Tabela11, pode-se concluir que de acordo com as regulações adotadas para os disparadores magnéticos a garantia de proteção de pessoas estaria assegurada.

Tabela11: Valores regulados nos dispositivos de proteção da instalação.

QUADRO	CIRCUITO	$I_{sd}$	fase	PE	u	$I_{real}$	$I_{max}$ teórico ( $I_{sd}$ )	$I_{max}$ corrigido ( $I_{sd}$ )
	Nº	(A)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )		(m)	(m)	(m)
QGBT	QTC3 - 1	$1,5 I_r$	1920	4x300	2x240	219	270	2310
								-----

QTC3	QGUPS - 2	6 lr	3800	2x120	120	210	80	194	171.3
QGUPS	Retif. 1- 3a	6 lr	3000	2x95	95	187	25	166	88
QGUPS	Retif. 2 - 3b	6 lr	3000	2x95	95	187	25	166	88
QGUPS	Bypass - 3c	6 lr	3800	2x95	95	187	16	132	70

#### 4.6.3 Proposta de solução 3

Uma alternativa ao sobredimensionamento do condutor de proteção é a aplicação de um transformador de isolamento Dyn a montante e próximo das UPS. Esta solução é mais onerosa, além dos custos de aquisição também se têm que considerar a manutenção devido às perdas do transformador.

## 5 CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho descrito neste artigo foi o de apresentar um caso real no qual o paralelo de duas unidades de alimentação ininterruptas de 300 kVA com armário de *bypass* externo colocadas numa instalação projetada em regime TT apresentam um funcionamento deficiente no que se refere à proteção de entrada disjuntores diferenciais, na entrada de cada UPS e no *bypass*, solução não adequada a este tipo de configuração de UPS's.

Foram apresentadas propostas de solução. E um alerta no sentido de permitir o correto funcionamento e garantir simultaneamente a proteção de pessoas em regime TT:

- Verificar se a proteção diferencial é adaptada a este tipo de equipamento, ou seja, imune e se filtra o ruído eletromagnético garantindo a proteção à componente fundamental;
- Quando a unidade de alimentação, UPS, tem duas redes independentes é necessário fazer uma adaptação com um transformador de isolamento;
- Quando estamos em presença de UPS's em paralelo tem de haver uma única proteção diferencial a todo o sistema ininterrupto. Verificou-se que em algumas publicações de fabricantes, que incluem transformadores em todos os ramos, já seria possível colocar proteções diferenciais. Mas, na prática estas proteções não garantem a proteção de contactos indiretos no armário da UPS, uma vez que o transformador faz a separação galvânica e, consequentemente, cria uma barreira a essa proteção.

Sendo um objetivo deste tipo de sistemas ininterruptos garantir mais disponibilidade a um universo de cargas críticas elevado devem ser ponderados os pontos de falha e, consequentemente, a proteção das pessoas.

Um regime de terras TN associado a um local técnico condicionado a pessoas qualificadas e instruídas poderá ser uma boa solução. A monitorização da fuga à terra sinalizável no local e remotamente acrescenta segurança e melhora a gestão da manutenção destes sistemas.

O regime de terras IT acarreta um desafio, que bem ponderado, poderá ser também a base para as UPS's funcionarem ininterruptamente sem elementos de falha. Mas a redução de impedância causada pelos filtros CEM das cargas e das próprias UPS's poderá ser uma dificuldade para encontrar a impedância considerada sem fuga.

O presente estudo serviu essencialmente para expor este tipo de problemas, tentando contribuir para que na fase de projetos estas situações sejam tidas em conta e escolhido o regime de neutro mais adequado ao funcionamento de sistemas de alimentação ininterruptos de elevada potência em paralelo com garantia de elevada continuidade de serviço mas, em simultâneo, garantindo a correta e eficaz proteção de pessoas.

## Referências

- [1] Pedro Jorge Vieira Meireles, "Regimes de Neutro em Redes e Instalações de BT – Vantagens e Inconvenientes para segurança de Pessoas, Bens e para a Exploração do Sistema", Dissertação de mestrado, FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [2] Características da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de energia elétrica, NP-EN 50160, 2010.
- [3] APC by Schneider Electric. (2012). Fatores chave nas instalações da UPS, Lisboa, Portugal.
- [4] Uninterruptible power systems (UPS) - Part 3: Method of specifying the performance and test requirements, IEC 62040-3, 2011.
- [5] Schneider Electric. (2000). Caderno Técnico nº 173, Schneider Electric, Lisboa, Portugal.
- [6] Neil Rasmussen, Os diferentes tipos de sistemas de UPS, Aplicação Técnica nr. 1, APC by Schneider Electric, 2010.
- [7] Schneider Electric.(2013). MGE Galaxy 7000-160-500 kVA – Installation Manual, Schneider Electric, Grenoble, France.

- [8] Schneider Electric.(2015). Electrical Installation Guide, Grenoble, France.
- [9] Low-voltage electrical installations - Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions, IEC 60364-1, 2012.
- [10] Nuno Miguel Gonçalves de Castro Dinis Mariano, “Sistemas de Terra e Proteção Contra Descargas Atmosféricas”, Dissertação de mestrado, IPS, Instituto Politécnico Viseu, Viseu, Portugal, 2011.
- [11] Schneider Electric. (2009). Cahier Technique nr.129, Schneider Electric, Grenoble, France.
- [12] Portaria n.º 949-A/2006 - RTIEBT - Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Diário da República, 11 de setembro, 2006.
- [13] Constantino Soares, Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Projeto, Execução e Exploração – Origem e interpretação das RTIEBT – 1ª Edição e principais diferenças face ao “740/74”. Lisboa: CERTIEL e DGEG, 2006.
- [14] Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents, IEC 60909-0, 2001.



